



INSTALLATION D'UNE PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE SUR LE RESEAU D'IRRIGATION DE LA COMMUNE DE LIDDES

ETUDE DE FAISABILITÉ

Rapport final

Auteur

MHyLab

En Platé, 1354 Montcherand, info@mhyllab.com, www.mhyllab.com



Date: 20.11.2006

Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Adresse postale: CH-3003 Berne

Tél. +41 31 322 56 11, fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

Responsable OFEN: bruno.guggisberg@bfe.admin.ch

Numéro de projet: 101728

Le ou la mandataire de l'étude est seul(e) responsable de son contenu.



Table des matières

Résumé	4
Introduction	5
Description générale du projet	5
Données de base	6
Dénivellation exploitable	6
Hydrologie	6
Mesures des débits du Torrent de Palasuit	6
Débits moyens du Torrent de Palasuit	7
Débits turbinables et courbe des débits classés	8
Débit d'équipement	9
Conduite forcée et perte de charge	10
Principales dimensions de la turbine pour les 5 variantes retenues	11
Production électrique annuelle	13
Analyse économique des 3 variantes retenues	15
Investissements	15
Frais d'exploitation	16
Calcul de rentabilité	16
Calculs économiques en incluant le coût total de la nouvelle conduite	17
Principales caractéristiques de la variante retenue	19
Description des équipements électromécaniques pour la variante retenue	20
Turbine	20
By pass	20
Vannes	21
Sécurité	21
Contrôle-commande	21
Alternateur	22
Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	23
Raccordement électrique	23
Génie civil	23
Conduite forcée	23
Local de turbinage	23
Divers	24
Conclusions	24
Programme de travail	24
Annexes	25



Résumé

Le réseau d'irrigation de la commune de Liddes utilise l'eau du Torrent de Palasuit, captée dans la chambre de Crededin à 1'620 m d'altitude. Ce réseau comprend un réservoir à la prise d'eau de Palasuit à 1'450 m, où se trouve la plus importante ramification du réseau. C'est ici qu'il est prévu d'installer le local de turbinage.

Parmi les différentes variantes de base étudiées, celle optimale pour la valorisation énergétique du réseau d'irrigation correspond à un turbogroupe Pelton à 2 injecteurs, sous une chute nette de 162 m, selon un débit d'équipement de 150 l/s et d'une puissance électrique de 197 kW.

Pour ce faire, les tronçons de conduite situés en amont de la centrale doivent être remplacés par des tronçons en DN 300, vu leur état et afin de limiter la perte de charge.

En considérant que le consortage d'irrigation de la commune de Liddes obtienne l'autorisation de turbiner en hiver (du 1^{er} octobre au 15 avril), la production de cette centrale serait de 574'000 kWh/an, avec un prix de revient de 9.0 cts/kWh.



Introduction

Dans le cadre du plan annuel 2006 du programme petites centrales hydrauliques de Suisseénergie, MHyLab a été mandaté par le consortage d'irrigation de la commune de Liddes, représenté par M. Daniel Lattion, pour effectuer une étude de faisabilité détaillée du turbinage des eaux d'irrigation.

Cette étude complète celle, sommaire, effectuée en mars 2006, qui a démontré la faisabilité technique et économique du projet.

Ce type d'étude a pour objectif de préciser l'optimum technique et économique du site.

Description générale du projet

Une visite du site a eu lieu le 16 février et le 9 août 2006.

Le réseau d'irrigation utilise l'eau du Torrent de Palasuit, qui, ne dépendant pas d'un glacier, est alimenté exclusivement par les précipitations et la fonte des neiges.



Photo 1. Emplacement de la future centrale: à proximité du Torrent de Palasuit

L'eau d'irrigation est prélevée dans le torrent de Palasuit (repère 1 sur la carte en annexe au 1:2'000). Elle transite jusqu'à la chambre de mise en charge de Crededin (repère 2), située à 1'620 m. A 1'600 m d'altitude se trouve une bifurcation en T (repère 3). La majeure partie de l'eau transite ensuite par la conduite jusqu'à la Prise d'eau de Palasuit (repère 4) à 1'450 m d'altitude, où le réseau s'ouvre sur 3 directions. C'est ici que se trouvera le local de turbinage.

Une inspection des conduites, réalisée le 20 juin 2006 pour le tronçon 3-4, et le 7 juillet 2006 pour le tronçon 2-3, montre la nécessité de changer toute la conduite entre la chambre de mise en charge de Crededin et la prise d'eau de Palasuit à l'emplacement de la future turbine.

En effet, le tronçon 2-3 en PE, DN 250, a subi de nombreuses déformations et écrasements.

Le tronçon 3-4, d'une longueur totale d'environ 400 m, est en DN 150 sur 390 m, ce qui, comme montré dans l'étude sommaire, limite fortement le débit d'équipement de la turbine. De plus, et contrairement à l'hypothèse optimiste posée dans cette étude sommaire, il s'avère que ce tronçon 3-4 en acier, bien que datant de 1984, présente une forte rugosité aux parois. Cette abrasion est principalement due aux limons charriés par le Torrent, et au fait que le réseau soit laissé hors eau pendant tout l'hiver, ce qui favorise le développement de rouille. Cette rugosité se traduit par une perte de charge importante pour le turbinage.

Ainsi, le tronçon 3-4 peut être considéré comme suffisant pour les besoins d'irrigation, mais inadapté au turbinage. Il sera donc maintenu, et pourra servir de by-pass, tandis qu'un nouveau tronçon sera installé en parallèle pour le turbinage. Par contre, le tronçon 2-3 doit être remplacé dans tous les cas.



Il est à noter que le débit mesuré par le déversoir triangulaire ne comprend pas celui transitant par le réseau d'irrigation, fonction des besoins.

A partir de la hauteur d'eau mesurée dans le déversoir triangulaire, le débit peut être calculé avec l'équation suivante:

$$Q = 1.417 \cdot h^{\frac{5}{2}}$$

Avec:

- Q: débit en m³/s,
- h: hauteur d'eau mesurée de la lame en m.

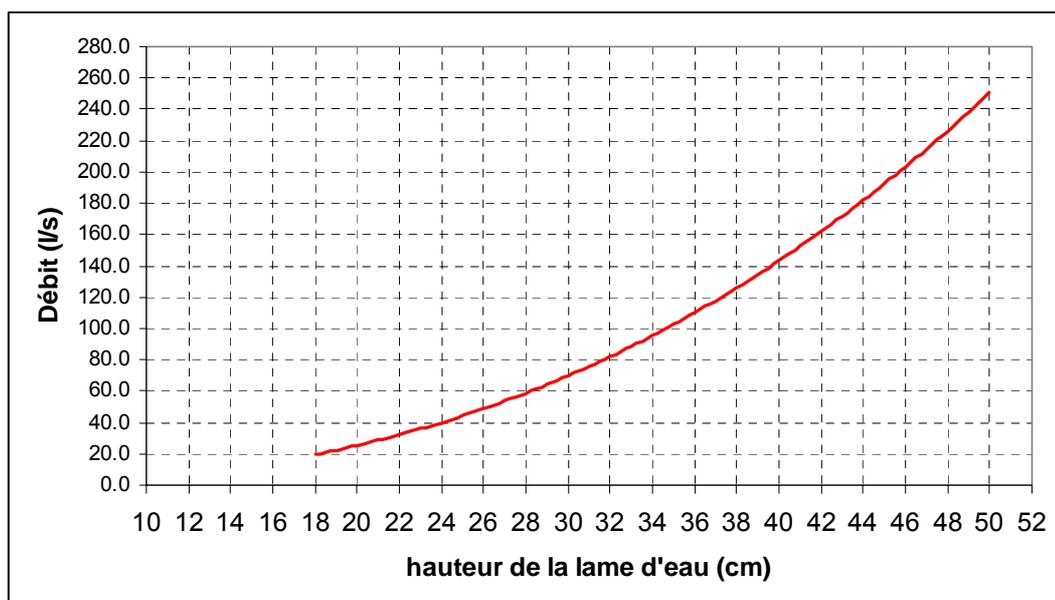


Figure 1. Corrélation entre la hauteur de la lame d'eau et les débits pour le déversoir triangulaire

La Figure 2 montre la cohérence entre les différentes mesures, avec une saison de hautes eaux en avril, mai et juin, ce qui correspond à la fonte des neiges. Toutefois, les calculs se baseront en priorité sur les mesures effectuées avec le déversoir triangulaire, celui-ci respectant le plus les déversoirs normés.

Débits moyens du Torrent de Palasuit

Afin d'obtenir la courbe des débits classés pour une année hydrologique, il est nécessaire de transposer les débits mesurés en 2005 et 2006 sur une période hydrologique d'au moins 10 années.

Pour ce faire, les débits de la Drance de Bagnes - Le Châble (coordonnées 582550/103270), cours d'eau à proximité du Torrent de Palasuit, sont disponibles depuis 1957. Ce cours d'eau étant passablement régulé par les centrales hydrauliques, aucune corrélation mensuelle fiable ne peut être établie. Par contre, il est possible de replacer les volumes annuels de 2005 et de 2006 sur une année hydrologique. Ainsi, l'année 2005 apparaît comme une année sèche sur la période 1957-2004, tandis que les 8 premiers mois de 2006 s'avèrent être dans la tendance.

Après avoir reconstitué une année complète à partir des mesures de 2005 et de 2006, chaque débit mensuel du Torrent de Palasuit sera corrigé par le facteur de corrélation correspondant à 2005 ou à 2006 (c'est-à-dire 1.20 pour 2005 et 1.04 pour 2006).

Les débits mensuels corrélés sont montrés sur la figure suivante.



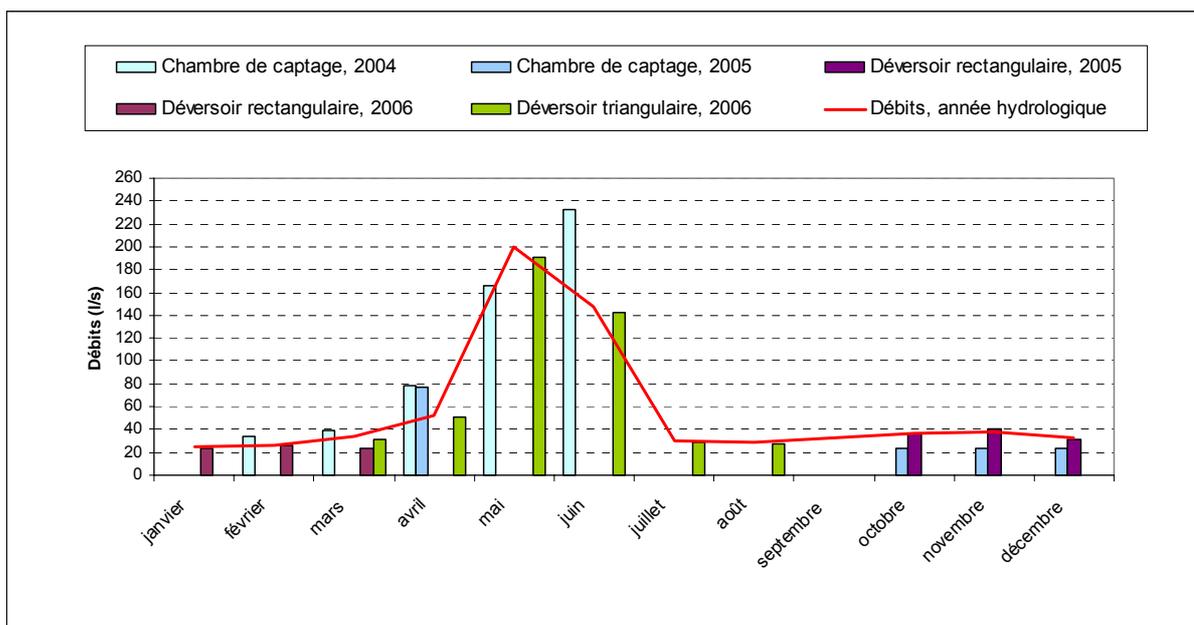


Figure 2. Bilan des différentes mesures de débits du Torrent de Palasuit effectuées depuis 2004, et année hydrologique

Le bilan hydrologique suivant peut ainsi être établi:

	Régime hydrologique du torrent	Débits du Torrent (l/s)	Etat du réseau d'irrigation
janvier	minima	25	Réseau d'irrigation hors service
février	minima	27	Réseau d'irrigation hors service
mars		33	Réseau d'irrigation hors service
avril	Début de la fonte des neiges	53	Réseau mis en service au 15 avril, peu de consommation
mai	Fonte des neiges	199	Peu de consommation
juin	Fonte des neiges	148	Peu de consommation
juillet	minima	29	Forte consommation, arrosage après les foins, irrigation pour le bétail, manque d'eau, tributaire des pluies
août	minima	29	Forte consommation, irrigation pour le bétail, manque d'eau, tributaire des pluies
septembre		33	peu de consommation
octobre		36	Réseau d'irrigation hors service
novembre	minima	38	Réseau d'irrigation hors service
décembre	minima	33	Réseau d'irrigation hors service

Tableau 1. Bilan hydrologique du torrent de Palasuit

La courbe des débits classés du Torrent de Palasuit est donnée en Figure 3.

Débits turbinables et courbe des débits classés

L'article premier de l'arrêté sur l'utilisation des bisses dérivant les rivières concessionnées du 17 octobre 1924 stipule que:

"La période d'irrigation avec libre droit d'usage des bisses et canaux par les consortages ou les propriétaires, lorsque l'eau est dérivée d'une rivière concessionnée, est fixée du 15 avril au 1^{er} octobre."

Ainsi, pour le turbinage des eaux du Torrent de Palasuit en hiver est-il nécessaire d'obtenir un droit d'eau auprès de la Commune de Liddes.

Ici, nous prendrons l'hypothèse que ce droit d'eau sera obtenu, et que l'utilisation de l'eau pour le tur-



binage sera autorisée toute l'année.

S'agissant d'une nouvelle concession, la loi sur les débits résiduels s'applique. En considérant que le prélèvement de l'eau se fait sur un cours d'eau non piscicole, l'alinéa b de l'article 32 de cette loi peut s'appliquer. Ainsi, le débit résiduel représenterait au moins 35 % du Q_{347} .

La courbe moyenne des débits classés du Torrent de Palasuit donne un Q_{347} de 26 l/s environ, soit un débit résiduel de 9 l/s environ.

Ainsi, les calculs se feront avec un **débit résiduel de 9 l/s**, appliqué **uniquement en hiver**, c'est-à-dire du 1^{er} octobre au 15 avril.

De plus, lors du fonctionnement du réseau d'irrigation, toute l'eau du Torrent de Palasuit ne pourra être turbinée. En effet, le réseau se partage actuellement en deux tronçons au niveau du point 3 (tronçon 3.1 et tronçon 3-4). Au niveau de la Prise d'eau de Palasuit (point 4), il se partage en 3 tronçons (tronçons 4.1, 4.2 et 4.3 – se référer à la carte en annexe-), dont un seulement pourra être turbiné, le tronçon 4.1 remontant sur une centaine de mètres.

Il est difficile de chiffrer le débit non turbinable, celui-ci variant en fonction des besoins et des précipitations. De plus, le Torrent de Palasuit étant dépendant des précipitations, les périodes de forte demande en eau, situées entre le 10 juillet et le 15 août, correspondent aux débits minima du Torrent. Le turbinage ne devant pas altérer la distribution de l'eau d'irrigation, il est à prévoir que la turbine fonctionne à son débit minimum lors de ces périodes.

Enfin, il est à rappeler que le point de mesures du débit du Torrent de Palasuit ne prend pas en compte l'eau transitant dans le réseau d'irrigation.

En conclusion, pour les calculs qui suivront, nous supposons que les débits turbinables pour les mois de **juillet et août** s'élèvent en moyenne à **20 l/s**.

Il est à noter, enfin, que la majeure partie de l'eau prélevée du Torrent lui est restituée environ 600 m en aval et 170 m plus bas.

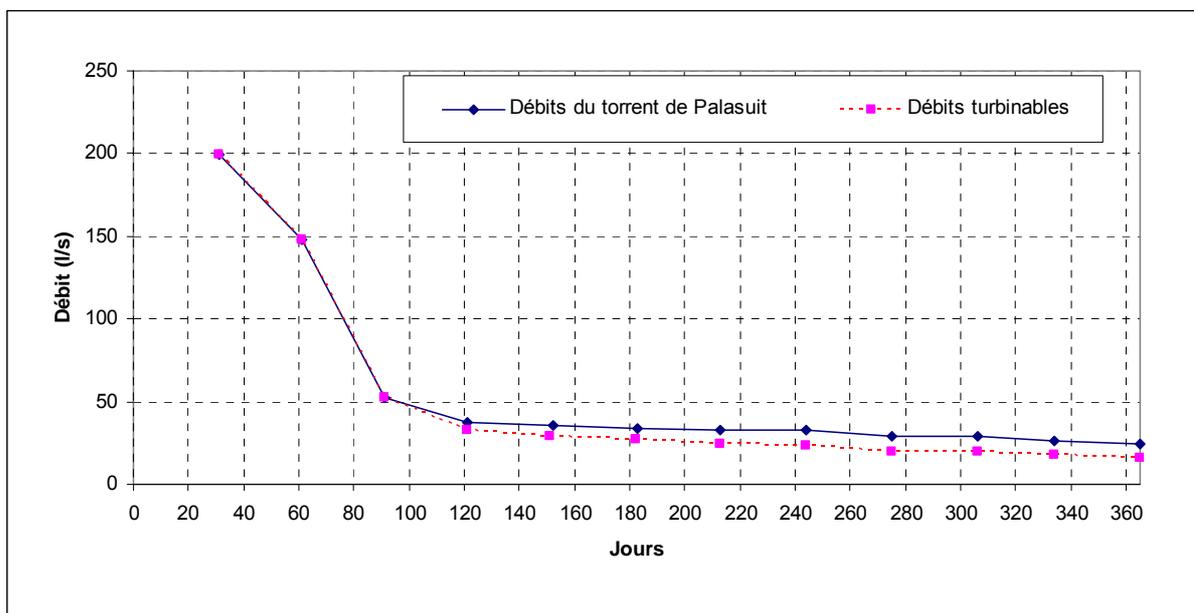


Figure 3. Courbes moyennes des débits classés pour le Torrent de Palasuit et pour la station de turbinage

Débit d'équipement

Au vu de la courbe des débits classés turbinables, **3 variantes de débits d'équipement peuvent être étudiées: 100, 120 et 150 l/s**, atteints ou dépassés plus de 60 jours par an.



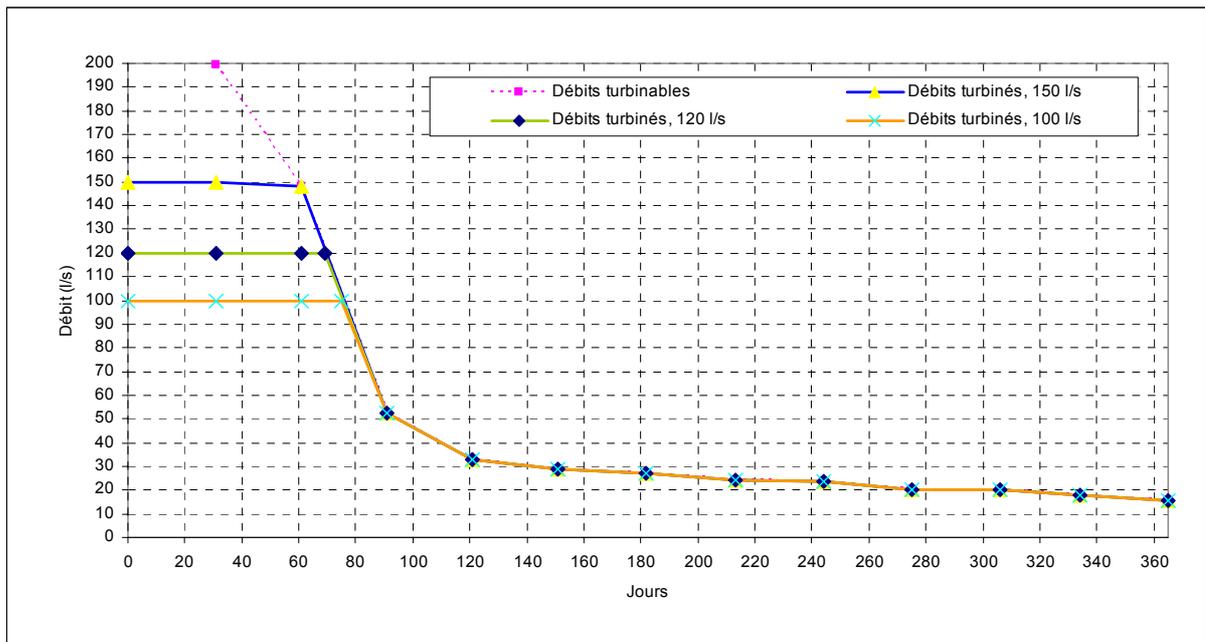


Figure 4. Courbes des débits classés turbinés finales pour les 3 débits d'équipement

Conduite forcée et perte de charge

Toute nouvelle conduite entre la chambre de captage de Crededin et la prise d'eau de Palasuit, emplacement de la future station de turbinage, devra garantir un rendement de l'ordre des 90 % au débit d'équipement.

Le calcul de la perte de charge dans la conduite, basé sur la formule de Colebrook, permet de déterminer l'équation de perte de charge suivante:

$$H_r = K_{Hr} \cdot Q_t^2 \quad (1)$$

avec: H_r = perte de charge [m]

K_{Hr} = coefficient global de perte de charge, fonction du diamètre interne de la conduite et de la rugosité [s^2/m^5]

Q_t = débit turbiné [m^3/s]

Vu l'usure des tronçons actuellement en place, nous recommandons la pose d'une conduite en acier ou en fonte. Les calculs sont réalisés avec une rugosité est de 0.1 mm, ce qui correspond à une conduite en acier ou en fonte en fonctionnement depuis plusieurs années.

Trois types de conduite standard ont été étudiés: en DN 200, DN 250 et DN 300, pour les 3 variantes de débit d'équipement. Le Tableau 2 donne pour chaque variante le rendement de la conduite au débit d'équipement.

Ainsi, il s'avère que même pour un débit d'équipement de 100 l/s, une conduite en DN 200 n'est pas intéressante, car elle entraîne trop de perte de charge.

De plus, pour un débit de 100 l/s, une conduite en DN 300 n'est pas justifiée.

Ainsi, à ce stade, **seules les variantes 2, 5, 6, 8 et 9 sont retenues**, car présentant un rendement de conduite proche de 90 %.



Variantes		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Débit d'équipement	l/s	100	100	100	120	120	120	150	150	150
Longueur de la nouvelle conduite	m	632	632	632	632	632	632	632	632	632
Diamètre de la conduite	mm	DN200	DN250	DN300	DN200	DN250	DN300	DN200	DN250	DN300
Rugosité	mm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Coefficient de perte de charge	s ² /m ⁵	2884	925	367	2884	925	367	2884	925	367
Chute nette au débit d'équipement	m	141	161	166	128	157	165	105	149	162
Rendement de la conduite	%	83	95	98	76	92	97	62	88	95

Tableau 2. Variantes de diamètre pour la nouvelle conduite, suivant différents débits d'équipement (en gras, les variantes choisies)

Principales dimensions de la turbine pour les 5 variantes retenues

La dénivellation disponible impose d'installer une turbine de type Pelton. Compte tenu de la variation des débits (la moitié du débit d'équipement est atteinte ou dépassée environ 90 jours dans l'année), nous choisissons une machine à deux injecteurs.

Les indications suivantes correspondent à une turbine développée en laboratoire. Elles sont fournies à titre indicatif et peuvent varier en fonction du constructeur choisi. En effet, les performances de la turbine (garanties de rendement, fiabilité, etc.) correspondent à une machine pour laquelle le constructeur peut prouver indiscutablement la provenance de ses garanties. Ainsi, les caractéristiques annoncées sont réalistes, pour autant que la turbine soit construite conformément à un profil issu de développement en laboratoire.

Le Tableau 3 donne les principales caractéristiques de la turbine pour les différentes variantes retenues.



Variantes		2	5	6	8	9
Débit d'équipement, Q_N	l/s	100	120	120	150	150
Diamètre de la conduite	mm	DN250	DN250	DN300	DN250	DN300
Chute nette à Q_N	m	161	157	165	149	162
Energie massique à Q_N	J/kg	1576	1536	1615	1462	1586
Type de turbine		Pelton	Pelton	Pelton	Pelton	Pelton
Nombre d'injecteurs		2	2	2	2	2
Vitesse de rotation	t/min	1000	1000	1000	1000	1000
Diamètre externe de roue	mm	629	627	637	637	652
Diamètre du cuvelage	mm	1510	1510	1530	1530	1570
Largeur d'auget, B_2	mm	109	123	121	141	138
Diamètre d'injection, D_1	mm	508	502	515	490	510
Nombre d'augets		22	22	22	21	21
Puissance hydraulique	kW	158	184	194	219	238
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	141	165	173	196	213

Tableau 3. Principales caractéristiques de la petite turbine Pelton pour les cinq variantes

Les dimensions des turbines étant relativement similaires (même nombre d'injecteurs, même vitesse de rotation, même diamètre de roue, même nombre d'augets, etc.), leur coût sera également similaire.

La Figure 5 illustre les courbes de rendement mécanique à l'accouplement pour les 5 variantes qu'il est possible d'obtenir en acquérant une petite turbine dont les caractéristiques sont garanties par des essais en laboratoire.

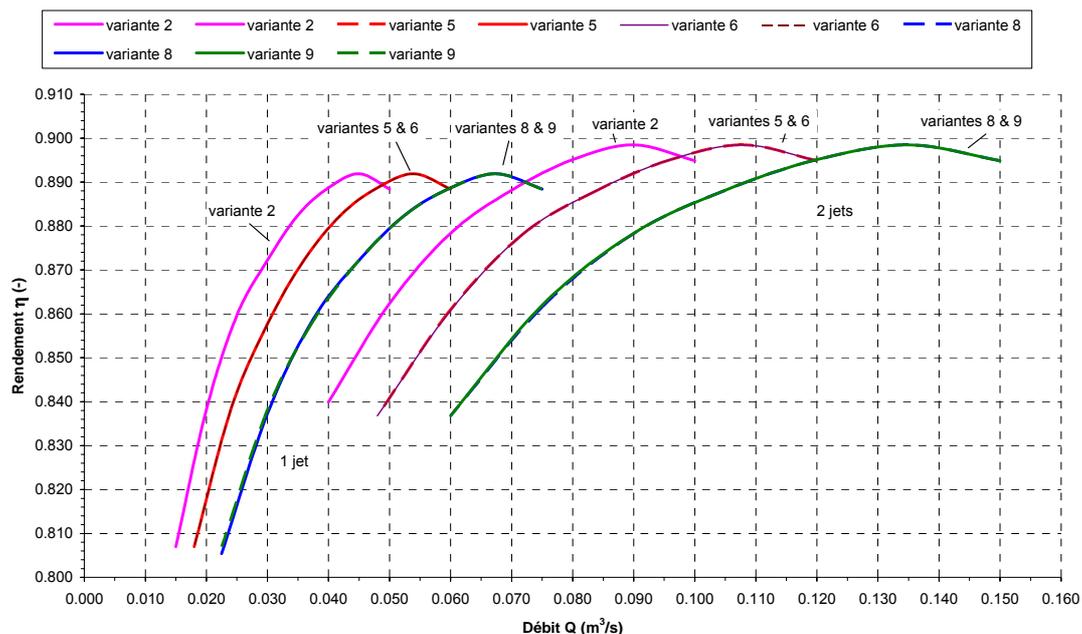


Figure 5. Rendement mécanique à l'accouplement en fonction du débit turbiné pour les 5 variantes



Il est à noter que la turbine fonctionne jusqu'à 10 % du débit maximal par injecteur.

Production électrique annuelle

La production électrique annuelle est calculée par intégration de la courbe des puissances électriques classées, grâce à l'expression:

$$E_{\text{etot}} = 10^{-3} \int \rho g Q_t \eta(Q_t) H(Q_t) dt \quad [\text{kWh/an}]$$

où E_{etot} = production électrique totale annuelle [kWh/an]

Q_t = débit turbiné [m³/s]

$\eta(Q_t)$ = produit des rendements de la turbine, de l'alternateur, fonction du débit [-]

$H(Q_t)$ = chute nette fonction du débit turbiné, calculée par l'équation (1) [m]

Le rendement de la turbine, pour chaque variante est donné à la Figure 5.

Le rendement de l'alternateur est donné par la figure suivante:

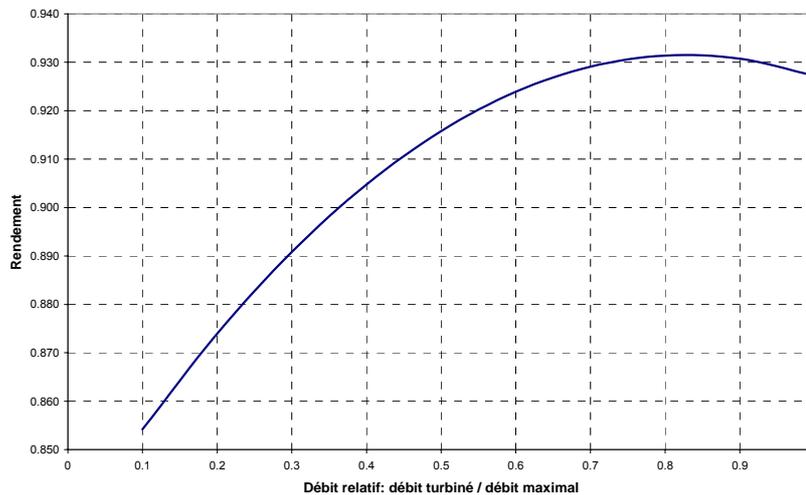


Figure 6. Courbe- type de rendement de la génératrice

La Figure 7 donne le graphe des puissances classées pour les différentes variantes, la surface entre les axes et les courbes représentant les productions électriques en kWh/an.



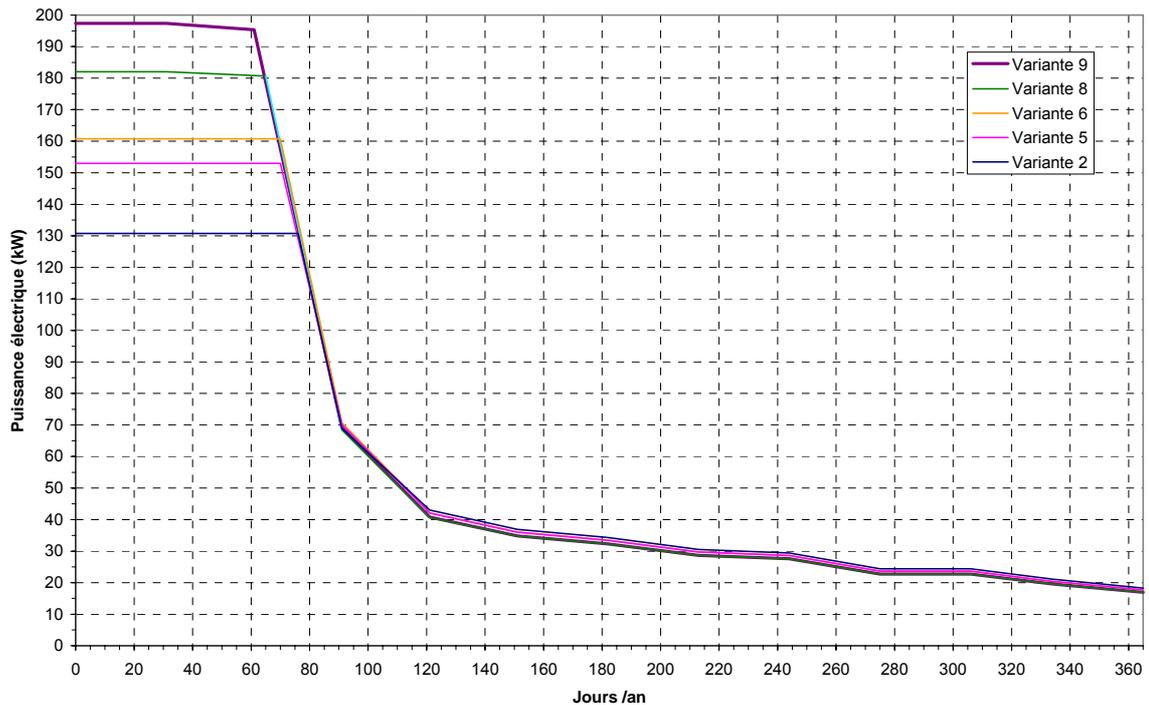


Figure 7. Courbes des puissances électriques classées pour les différentes variantes

Variantes		2	5	6	8	9
Débit d'équipement, Q_N	l/s	100	120	120	150	150
Diamètre de la conduite	mm	DN250	DN250	DN300	DN250	DN300
Chute nette à Q_N	m	161	157	165	149	162
Puissance hydraulique	kW	158	184	194	219	238
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	141	165	173	196	213
Puissance électrique	kW	131	153	161	182	197
Production électrique	kWh/an	485'000	509'000	535'000	559'000	582'000
Production électrique, arrêts inclus	kWh/an	478'000	512'000	527'000	552'000	574'000

Tableau 4. Production électrique pour chaque variante (en gras, variantes retenues)

Selon l'expérience MHyLab, la production électrique finale prend en compte un arrêt de la turbine de 5 jours pendant la période de turbinage, correspondant à un arrêt pour débit insuffisant ou pour révision.

Ainsi, pour une conduite en DN 250, considérant que les coûts du turbogroupe sont similaires pour toutes les variantes, et au vu des productions, la variante 2 à 100 l/s n'est pas intéressante.

De plus, pour une conduite en DN 300, la variante 6 à 120 l/s n'est pas pertinente face à la variante 9 à 150 l/s.

Ainsi, à ce stade de l'étude, les **variantes 5, 8 et 9** sont retenues.



Analyse économique des 3 variantes retenues

Cette étude économique a pour objectif d'approcher le prix de revient du kWh électrique à **plus ou moins 25%**, afin de déterminer la variante finale.

INVESTISSEMENTS

Les points suivants sont pris en compte:

- Les investissements sont donnés hors taxes.
- L'estimation des coûts pour le turbogroupe, similaires pour les 3 variantes, a été faite en se basant sur des réalisations comparables.
- Le coût pour l'électromécanique comprend celui du raccordement.
- Le coût du raccordement compte:
 - le coût du transformateur pour éviter les puissances de court-circuit, d'un montant estimé à 15'000 CHF,
 - la taxe de raccordement de 3'500 CHF,
 - les coûts du câble en cuivre d'une section de 240 mm², entre la turbine et le réseau électrique de Liddes à 400 V, d'une longueur de 150 m: le prix matière est estimé à 120 CHF/m (au 06.10.06), soit un coût total estimé à 30'000 CHF (matière et pose incluses).

Finalement, l'investissement pour le **raccordement électrique** est estimé à **48'500 CHF**, quelle que soit la variante.

- Le coût du local de turbinage, estimé par le bureau technique Thétaz Ingénieurs Civils SA, est détaillé en annexe.
- Les coûts de la nouvelle conduite, estimés par le bureau technique Géodranse SA, sont détaillés en annexe.
- **Vu l'état du tronçon 2-3 actuel en PE, le coût du changement de cette conduite ne s'applique pas directement au projet de turbinage, mais au réseau d'irrigation. Ainsi, seul le coût du tronçon 3-4 est pris en compte dans ce calcul économique.**
- Vu l'état des conduites en acier actuelles, pour chaque variante seront effectués deux calculs: l'un avec une conduite en acier, l'autre avec une conduite en fonte, la fonte étant plus à même de limiter les dépôts.
- Les frais d'ingénierie sont estimés à 5 % de l'investissement total, tandis que les divers et imprévus sont estimés à 10 %.



Variantes		5, acier	5, fonte	8, acier	8, fonte	9, acier	9, fonte
Conduite	mm	DN 250	DN 250	DN 250	DN 250	DN300	DN300
Electromécanique	CHF	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000
Contrôle commande	CHF	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000
Local de turbinage	CHF	76'000	76'000	76'000	76'000	76'000	76'000
Tronçon 3-4	CHF	101'000	127'000	101'000	127'000	125'000	148'000
Ingénierie	CHF	26'000	28'000	26'000	28'000	28'000	29'000
Divers et imprévus	CHF	53'000	55'000	53'000	55'000	55'000	57'000
Total	CHF	606'000	636'000	606'000	636'000	634'000	660'000

Tableau 5. Résumé des investissements, suivant les variantes et les matières pour la conduite forcée

FRAIS D'EXPLOITATION

Les frais d'exploitation, comprenant les frais d'assurance, la taxe de puissance ainsi que les coûts de maintenance, d'entretien courant et de consommation d'énergie sont estimés à partir d'installations similaires, soit une moyenne de **CHF 5'000.- /an** pour toutes les variantes.

Le changement des paliers de l'alternateur, réalisé de manière préventive, est prévu tous les 10 ans. Les frais inhérents à cette opération sont évalués à CHF 10'000.-.

Un changement de l'ensemble du contrôle commande peut être envisagé tous les 15 ans. Le montant de cette opération est chiffré à CHF 30'000.-.

CALCUL DE RENTABILITÉ

Ce calcul prend en compte les éléments suivants:

- La nouvelle installation pourra bénéficier du tarif promotionnel de **15 cts/kWh** selon les recommandations de l'Office Fédéral de l'Energie pour des producteurs indépendants. De plus, suite à la modification de la loi sur l'Energie du 30 novembre 2004, ce tarif devrait être garanti sur le long terme grâce à la possibilité offerte aux distributeurs de facturer, à la société exploitant le réseau THT, les frais supplémentaires encourus du fait de l'achat de l'énergie électrique fournie par des producteurs indépendants.
- Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de 4.0 %, taux que l'on peut considérer comme prudent sur le moyen terme, les taux offerts aux collectivités publiques étant en général bien inférieurs.
- Le modèle économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.
- L'étude économique se base sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les durées d'amortissement suivantes:
 - 12 ans pour le contrôle commande,
 - 25 ans pour l'électromécanique,
 - 30 ans pour le génie civil.
- La totalité de l'investissement provient soit d'un emprunt bancaire, soit de capitaux propres rémunérés au même taux.
- Le prix de revient du kWh est déterminé en divisant la somme des frais annuels (annuité fixe et frais d'exploitation) par la production électrique annuelle, et a été calculé en considérant une année moyenne.



Variantes		5, acier	5, fonte	8, acier	8, fonte	9, acier	9, fonte
Investissement total	CHF	606'000	636'000	606'000	636'000	634'000	660'000
frais d'exploitation standard	CHF/an	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Production annuelle	MWhe/an	512	512	552	552	574	574
tarif de vente	cts/kWh	15	15	15	15	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	77'000	77'000	83'000	83'000	86'000	86'000
taux d'intérêt	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.5
Annuité	CHF/an	40'000	42'000	40'000	41'700	42'000	43'000
Bénéfice annuel	CHF/an	32'000	30'000	38'000	36'000	40'000	38'000
Prix de revient	cts/kWh	8.8	9.1	8.1	8.5	8.1	8.4

Tableau 6. Données économiques pour la petite centrale

La Figure 8 compare ces différents prix de revient.

Finalement, il apparaît que la **variante 9 à 150 l/s avec une conduite en DN 300 en fonte** est la plus intéressante d'un point de vue technique et économique, associant une conduite avec un diamètre interne important, plus résistante à la corrosion, la production la plus élevée (574'000 kWh/an) et un prix de revient parmi les plus bas des 6 variantes étudiées.

CALCULS ÉCONOMIQUES EN INCLUANT LE COÛT TOTAL DE LA NOUVELLE CONDUITE

Une deuxième approche consiste à prendre en compte le coût de tous les nouveaux tronçons (2-3 et 3-4) sur le projet de turbinage.

Les résultats des calculs économiques, basés sur les mêmes hypothèses qu'énoncées précédemment, sont résumés dans les tableaux suivants.

Variantes		5, acier	5, fonte	8, acier	8, fonte	9, acier	9, fonte
Conduite	mm	DN 250	DN 250	DN 250	DN 250	DN300	DN300
Electromécanique	CHF	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000
Contrôle commande	CHF	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000
Local de turbinage	CHF	76'000	76'000	76'000	76'000	76'000	76'000
Conduite totale	CHF	155'000	173'000	155'000	173'000	187'000	202'000
Ingénierie	CHF	29'000	30'000	29'000	30'000	31'000	31'000
Divers et imprévus	CHF	58'000	60'000	58'000	60'000	61'000	63'000
Total	CHF	668'000	689'000	668'000	689'000	705'000	722'000

Tableau 7. Investissements pour toutes les variantes en incluant le coût total des conduites



Variante		5, acier	5, fonte	8, acier	8, fonte	9, acier	9, fonte
Investissement total	CHF	668'000	689'000	668'000	689'000	705'000	722'000
frais d'exploitation standard	CHF/an	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Production annuelle	MWhe/an	512	512	552	552	574	574
tarif de vente	cts/kWh	15	15	15	15	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	77'000	77'000	83'000	83'000	86'000	86'000
taux d'intérêt	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Annuité	CHF/an	44'000	45'000	43'600	44'800	46'000	47'000
Bénéfice annuel	CHF/an	28'000	27'000	34'200	33'000	35'000	34'000
Prix de revient	cts/kWh	9.5	9.7	8.8	9.0	8.8	9.0

Tableau 8. Calculs économiques pour toutes les variantes en incluant le coût des 2 nouveaux tronçons

Ainsi, il apparaît que la **variante 9 à 150 l/s avec un DN 300** reste la plus intéressante, même en incluant le coût total des nouveaux tronçons. C'est cette variante qui est donc retenue et sera détaillée dans les chapitres suivants.

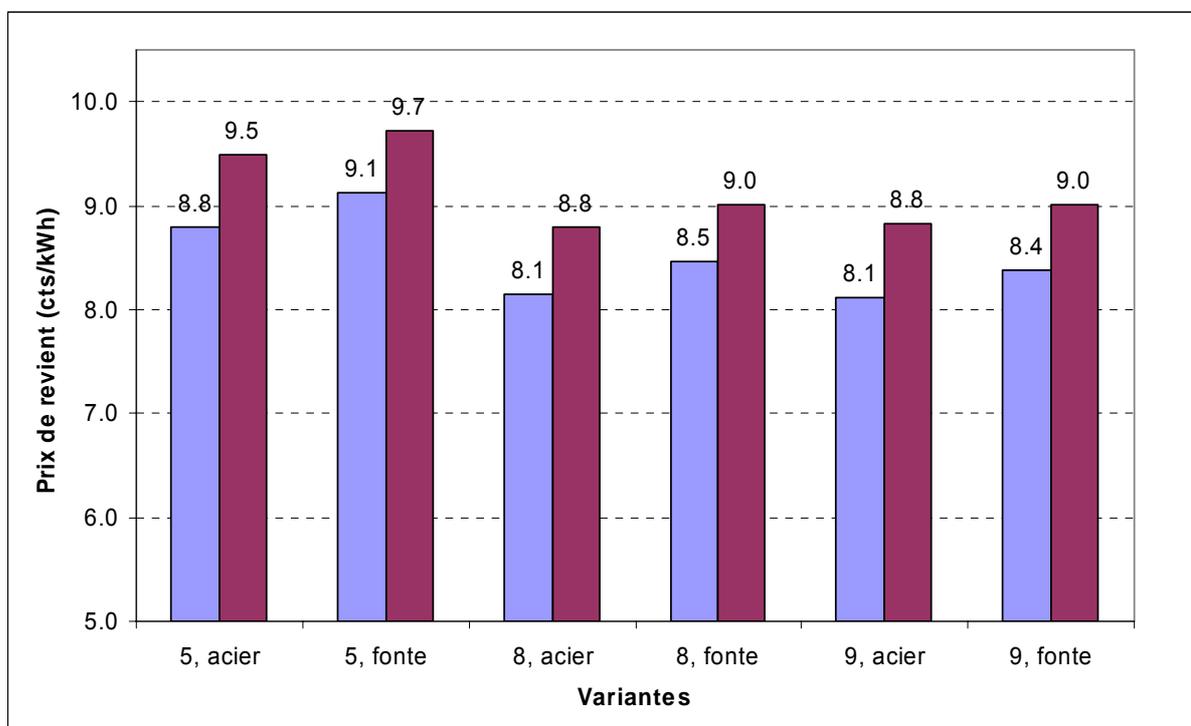


Figure 8. Prix de revient pour les différentes variantes, en incluant ou non le tronçon 2-3 dans les investissements



Principales caractéristiques de la variante retenue

Variante retenue		9
Débit d'équipement, Q_N	l/s	150
Diamètre de la conduite	mm	DN300
Matière de la conduite		fonte
Coefficient de perte de charge	s^2/m^5	367
Chute nette à Q_N	m	162
Energie massique à Q_N	J/kg	1586
Type de turbine		Pelton
Nombre d'injecteurs		2
Vitesse de rotation	t/min	1000
Vitesse d'emballement	t/min	1900
Diamètre externe de roue	mm	652
Diamètre du cuvelage	mm	1570
Largeur d'auget, B_2	mm	138
Diamètre d'injection, D_1	mm	510
Nombre d'augets		21
Puissance hydraulique	kW	238
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	213
Puissance électrique	kW	197
Production électrique	kWh/an	582'000
Production électrique, arrêts inclus	kWh/an	574'000

Tableau 9. Principales caractéristiques de la variante retenue

Variante retenue		9	9
		tronçon 3-4 uniquement	tous les tronçons
Electromécanique	CHF	300'000	300'000
Contrôle commande	CHF	50'000	50'000
Local de turbinage	CHF	76'000	76'000
Conduite	CHF	148'000	202'000
Ingénierie	CHF	29'000	31'000
Divers et imprévus	CHF	57'000	63'000
Total des investissements	CHF	660'000	722'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	5000	5000
Production annuelle	MWhe/an	574	574
tarif de vente	cts/kWh	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	86000	86000
taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.5	6.5
Annuité	CHF/an	43'000	47'000
Bénéfice annuel	CHF/an	38'000	34'000
Prix de revient	cts/kWh	8.4	9.0

Tableau 10. Calcul économique pour la variante retenue en incluant le tronçon 2-3 ou non



Description des équipements électromécaniques pour la variante retenue

TURBINE

La Figure 9 donne l'évolution du rendement de la turbine à l'accouplement en fonction des débits turbinés pour la variante 9 retenue.

La turbine sera à axe vertical, pour une meilleure évacuation de l'eau, un moindre encombrement, et un démontage-remontage plus aisé.

Vu l'abrasivité des limons, on utilisera autant que possible de l'acier inoxydable pour la construction de la turbine (acier 13/4 pour la roue).

La roue sera en porte-à-faux sur l'arbre de l'alternateur.

On utilisera de préférence une construction à augets rapportés, usinés en CNC, fixés entre deux flasques. Cette méthode permet un changement partiel de la roue en cas de dégâts éventuels dus à des matériaux solides transportés par l'eau. De plus, elle assure une parfaite similitude entre le profil hydraulique développé en laboratoire et celui usiné, chose difficilement réalisable (voire impossible) avec une roue coulée d'une pièce, l'espace étant insuffisant pour la finition par meulage. Par ailleurs, nous préconisons l'utilisation de barreaux forgés, dont les caractéristiques mécaniques sont bien supérieures à celles d'un métal coulé.

Une solution avec usinage CNC dans un disque forgé est également envisageable.

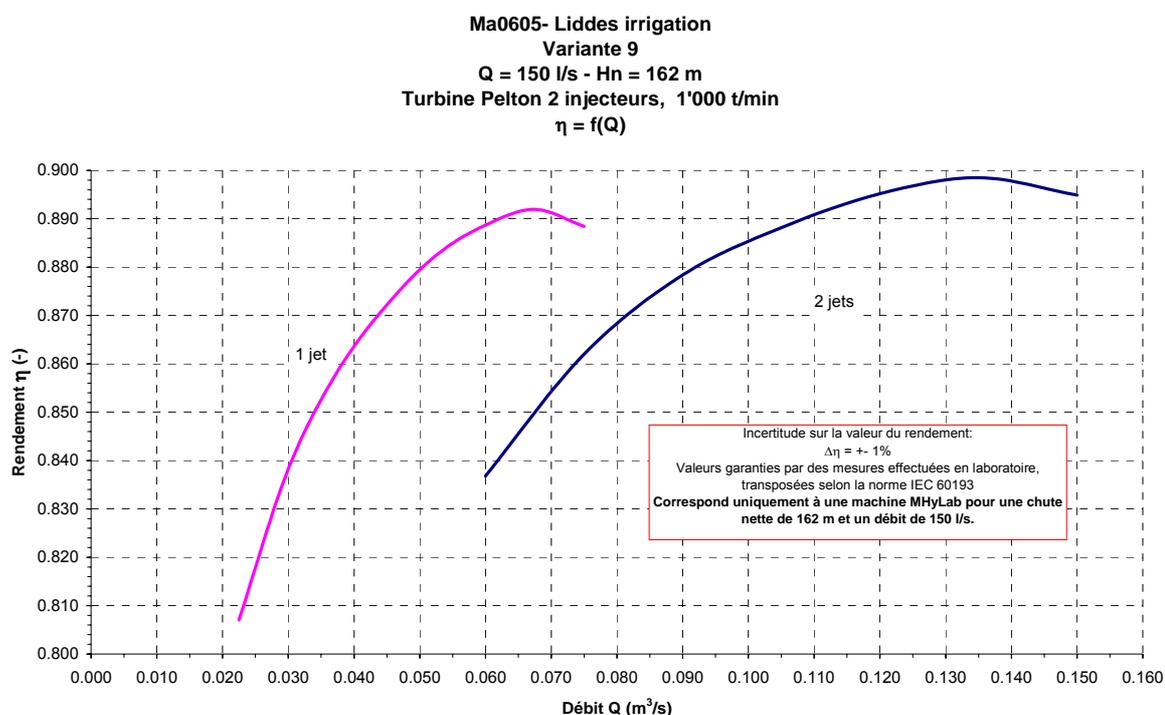


Figure 9. Rendement de la turbine à l'accouplement en fonction des débits turbinés pour la variante 9

En outre, nous recommandons une commande d'injecteur par vérin électrique, ceci afin d'éviter tout système oléo-hydraulique coûteux, et tout risque de pollution.

Chaque injecteur comportera un déflecteur afin d'assurer la sécurité en cas de déclenchement.

L'eau en sortie de turbine s'écoulera dans le réservoir actuel de la Prise d'eau de Palasuit qui alimente le réseau d'irrigation (sauf le tronçon 4.1). Le trop-plein sera évacué par le conduit de fuite actuel dans le Torrent de Palasuit, d'un diamètre interne de 300 mm environ.

BY PASS

Pendant la période d'irrigation, en cas d'arrêt de la turbine dû à un déclenchement ou à une révision, il est nécessaire de continuer à alimenter le réservoir de la Prise d'eau de Palasuit.



Pour ce faire, le tronçon 3-4 actuel en acier DN 150 sera maintenu, le réseau d'irrigation fonctionnera donc comme avant l'implantation de la station de turbinage.

De plus, pendant toute la période d'irrigation, ce tronçon servira à alimenter les tronçons 4.1 et 4.3, de manière à ne pas casser la pression et pouvoir remonter l'eau sur une centaine de mètres.

VANNES

Un système de vannes manuelles, ou motorisée ou commandées à distance sera installé sur les 3 tronçons au point 3 (se reporter au plan en annexe):

- tronçon 3.1, c'est-à-dire sur le tronçon d'irrigation ne passant par la turbine: **vanne A**,
- sur l'actuel tronçon 3-4 en acier DN 150: **vanne B**,
- et sur le nouveau tronçon 3-4 alimentant la turbine: **vanne C**.

De plus, une vanne télécommandée sera installée en sortie du tronçon actuel 3-4 servant de by-pass, afin d'alimenter le réservoir de la Prise d'eau de Palasuit en cas d'arrêt de la turbine: **vanne D**. Cette vanne sera commandé par le contrôle-commande du turbogroupe, et sera intégrée dans la chaîne de sécurité.

Enfin, une vanne de révision sera installée en amont du turbogroupe: **vanne E**. Elle sera de type sphérique (DN 300, PN 25), laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite. Sa manœuvre sera manuelle.

En période d'irrigation et en fonctionnement normal du turbogroupe, les vannes A, B, C et E sont ouvertes, tandis que la vanne D est fermée.

En période d'irrigation, le turbogroupe étant arrêté, les vannes A, B, C et D sont ouvertes, tandis que la vanne E peut être ouverte ou fermée.

Hors période d'irrigation, les vannes A, C et D sont fermées, tandis que les vannes B et E sont ouvertes.

SÉCURITÉ

La sécurité est assurée par les déflecteurs de la turbine. En cas de déclenchement, ceux-ci s'ouvriront, évitant ainsi l'emballement et les pointeaux se fermeront lentement afin de ne pas provoquer de surpression dans la conduite.

En parallèle, le by-pass devra s'ouvrir de manière automatique.

CONTRÔLE-COMMANDE

La petite centrale étant prévue pour fonctionner de manière entièrement automatique, sa régulation et son exploitation devront être des plus simples, réduisant au minimum les interventions.

La régulation sera asservie au niveau d'eau amont. Le signal devrait être fourni en 4 – 20 mA.

La turbine devra pouvoir fonctionner en automatique ou en manuel.

En cas de déclenchement de réseau, le redémarrage se fera de manière automatique. Il en est de même en cas d'arrêt consécutif à une alarme, si celle-ci disparaît sans intervention humaine.

Un système de télé-information sera également installé afin de gérer et de collecter les données de la petite centrale à distance.

Les tableaux comprendront en outre les éléments suivants :

- Commande de l'injecteur avec affichage de l'ouverture,
- Commande d'ouverture du by-pass de secours,
- Réglage de $\cos \varphi$.



Les indicateurs suivants seront à fournir :

- Voltmètre, wattmètre, fréquencemètre, mesure du $\text{Cos } \varphi$, synchroscope, compte tour,
- Indicateur d'ouverture du pointeau,
- Indicateur de niveau amont,
- Indicateur de charges des batteries de secours,
- Compteur d'heures, compteur de démarrages,
- Températures des roulements et du bobinage de l'alternateur,
- Arrêt d'urgence.

Les alarmes suivantes devront être traitées :

- Niveau amont insuffisant,
- Surcharges alternateur,
- Survitesse,
- Arrêt d'urgence,
- Défaut de mise en marche,
- Roulements alternateurs,
- Bobinages,
- Retour de courant,
- Surcharge batteries,
- Défaut batterie.

Le contrôle commande sera alimenté en 24 ou 48 V CC et secouru par des batteries.

ALTERNATEUR

Variante		9
Type		synchrone
Fréquence	Hz	50
Tension triphasée aux bornes	V	400
Vitesse nominale	min^{-1}	1000
Rendement maximal	%	93
Puissance active	kW	197
$\text{Cos } \varphi$	-	0.9
Puissance apparente	kVA	219

Tableau 11. Principales caractéristiques de l'alternateur

Les paliers seront à roulements graissés à vie, d'une durée de vie de 100'000 heures. Il sera nécessaire de tenir compte du fait que la roue de la turbine est en porte-à-faux sur l'arbre.

L'excitation triphasée sera à diodes tournantes, sans bague, avec si possible réglage de tension et de $\text{Cos } \varphi$ incorporé à la machine.



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE

La régulation de la turbine devra prendre en compte les besoins en eau d'irrigation transitant par les tronçons 3.1 et 4.1, et ne passant pas par la turbine. En effet, ces besoins sont prioritaires sur le turbinage.

La régulation de la turbine sera asservie à la mesure de niveau amont effectuée dans la chambre de captage de Crededin.

Hors période d'irrigation, le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le débit disponible est inférieur au débit minimum de fonctionnement de la turbine (7.5 l/s), celle-ci est à l'arrêt.
- Tant que le débit disponible est compris entre les débits minimum et maximum de la turbine, toute l'eau passe par l'installation hydroélectrique.
- Dès que le débit disponible dépasse le débit maximum de la turbine (150 l/s, situation rare en hiver), le surplus est déversé dans le torrent de Palasuit, au niveau de la chambre de captage de Crededin.

Pendant la période d'irrigation, le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le débit disponible pour la turbine est inférieur à son débit minimum de fonctionnement, celle-ci est à l'arrêt et ce débit peut transiter par le tronçon 3.1 et l'actuel tronçon 3-4 de manière à alimenter les tronçons 4.1, 4.2 et 4.3, si besoin.
- Tant que le débit disponible est compris entre les débits minimum et maximum de la turbine, toute l'eau non nécessaire aux tronçons 3.1 et 4.1, passe par l'installation hydroélectrique.
- Quand le débit disponible dépasse le débit maximum de la turbine, le surplus est déversé dans le torrent de Palasuit, au niveau de la chambre de captage de Crededin.

Raccordement électrique

Le raccordement se fera en 400 V, avec la pose d'une ligne électrique enterrée d'une longueur de 150 m, jusqu'au réseau électrique de la Commune de Liddes, également enterré au point de raccordement. Pour une puissance électrique de 197 kW ou 219 kVA, un câble de cuivre de 240 mm² de section sera nécessaire.

Ce raccordement nécessitera un transformateur de séparation de manière à protéger le réseau en cas de problèmes au niveau de la petite centrale.

Génie civil

Il est à noter que le site d'implantation de la turbine est très accessible étant situé près de la route menant au Grand-St-Bernard.

CONDUITE FORCÉE

Afin de limiter l'usure sur les conduites actuelles, l'intérieur de la conduite sera revêtu de résine, et nous recommandons la pose de nouveaux tronçons en fonte, de façon à réduire la perte de charge.

Un débit d'eau devra être en permanence maintenu dans les conduites afin de limiter les risques liés au gel.

Se reporter à l'annexe pour plus de détails sur la nouvelle conduite.

LOCAL DE TURBINAGE

Le local de turbinage sera enterré de façon à résister aux avalanches.

Se reporter aux annexes pour le croquis d'encombrement et le devis du nouveau local.



DIVERS

Le désableur actuel installé au niveau de la chambre de captage de Crededin est en bon état. Seule la grille pourrait être remplacée.

Conclusions

- La variante à 150 l/s, correspondant à une nouvelle conduite (tronçon 2-3 et tronçon 3-4) en DN 300 en fonte s'avère être la variante la plus intéressante en terme de:
 - qualité de la conduite, qui doit assurer à long terme une perte de charge minimale (un rendement de conduite au débit d'équipement supérieur à 90 %),
 - production, qui est la plus élevée de toutes les variantes analysées (**574'000 kWh/an**),
 - rentabilité, avec un prix de revient de **8.4 cts/kWh** et un bénéfice annuel de 38'000 CHF en comptant uniquement le nouveau tronçon 3-4, ou de **9.0 cts/kWh** et un bénéfice annuel de 34'000 CHF en comptant les deux nouveaux tronçons.
- L'obtention d'un subside pour le remplacement de la conduite permettrait d'améliorer la rentabilité financière du projet.
- Si le torrent se révélait piscicole, le débit résiduel serait de **50 l/s** selon l'article 31 de la Loi sur la Protection des Eaux, ce qui rendrait le turbinage en hiver pratiquement impossible. Dans ce cas de turbinage uniquement pendant la saison d'irrigation, la production serait de **457'000 kWh/an**, soit un prix de revient de **10.5 cts/kWh** ou de **11.1 cts/kWh**, et un bénéfice annuel de 20'000 CHF ou 18'000 CHF selon si le tronçon 2-3 est exclu ou non.
- Nous vous rendons attentifs au fait que les rendements de turbine utilisés ici sont ceux obtenus par des turbines développées en laboratoire, et nous vous conseillons de demander à tout fournisseur de turbine de justifier les rendements annoncés.
- La production annuelle de cette petite centrale injectée dans le réseau interconnecté européen évite le rejet dans l'atmosphère d'environ 275 tonnes de CO₂ par an et remplit un des objectifs de développement durable fixé par l'Agenda 21 mis en place dans le canton du Valais.
- La réalisation d'une petite centrale, outre cet aspect écologique valorisant pour la Commune, peut également revêtir un intérêt didactique auprès du public ou des écoles. La visite possible de cette installation pourrait devenir un objectif de ballade et une "attraction" supplémentaire pour la Commune de Liddes.

Programme de travail

Les prochaines étapes à mettre en œuvre pour pouvoir réaliser le projet de mise en place de la station de turbinage des eaux d'irrigation de Liddes sont les suivants :

- Continuer les mesures de débit au niveau du réservoir, afin de consolider la courbe des débits classés.
- Effectuer les démarches administratives afin d'obtenir un droit d'eau pour l'hiver et une autorisation à turbiner l'eau, et afin de valider le débit résiduel.
- Etablir le cahier des charges et lancer les consultations d'entreprises spécialisées dans la fourniture de matériel hydroélectrique, ou en génie civil et plus particulièrement dans la fourniture de conduite.
- Effectuer la commande du matériel, installation et mise en service.



- La mise en place du projet, devant se dérouler en dehors de la saison d'irrigation, pourrait être effectuée en automne 2007, dans la saison des faibles débits, et la mise en service au printemps 2008 juste avant la période de hautes eaux.

Annexes

Annexe A: Plan au 1: 2'000 d'une partie du réseau d'irrigation de la commune de Liddes.

Annexe B: Croquis d'encombrement de la turbine.

Annexe C: Devis pour le local de turbinage, établi par le bureau technique Thetaz Ingénieurs Civils SA et croquis, en juillet 2006.

Annexe D: Etude du remplacement de la conduite, devis, établi pour le bureau technique Géodranse SA, le 29 août 2006.



Ma 0605 - Annexe A -
 Réseau d'irrigation
 Commune de Liddes
 1:2000

20m





TURBINAGE DES EAUX D'IRRIGATION

LOCAL DE TURBINAGE

DEVIS GENERAL DES TRAVAUX

Juillet 2006

RECAPITULATIF

I	INSTALLATION DE CHANTIER	Fr.	5'000.-
II	TERRASSEMENTS	Fr.	10'500.-
III	BETON	Fr.	9'000.-
IV	COFFRAGES	Fr.	12'000.-
V	ACIERS D'ARMATURE	Fr.	8'000.-
VI	TRAVAUX EN REGIE	Fr.	4'000.-
VII	TRAVAUX DIVERS	Fr.	27'000.-
VI	HONORAIRES ET FRAIS	Fr.	9'000.-
	TOTAL DES TRAVAUX	Fr.	84'500.-
	TVA 7,6%	Fr.	6'422.-
	TOTAL DES TRAVAUX TTC	Fr.	90'922.-

I INSTALLATION DE CHANTIER

1.1 Forfait pour installation de chantier Fr. 5'000.-

TOTAL I INST. DE CHANTIER **Fr. 5'000.-****II TERRASSEMENTS**

2.1 Prolongement de la route d'accès Fr. 2'000.-

2.2 Apport de tout-venant Fr. 600.-

2.3 Terrassement en pleine masse Fr. 800.-

2.4 Elimination de blocs Fr. 800.-

2.5 Fouille en rigole Fr. 100.-

2.6 Terrassement pour entrochements latéraux Fr. 200.-

2.7 Fourniture de blocs Fr. 1'600.-

2.8 Façonnage d'entrochements Fr. 1'000.-

2.9 Réglage et cylindrage des fonds Fr. 100.-

2.10 Reprise des matériaux et remblayage Fr. 2'100.-

2.11 Divers et imprévus Fr. 1'200.-

TOTAL II TERRASSEMENTS **Fr. 10'500.-****III BETON**

3.1 Béton de propreté Fr. 200.-

3.2 Béton pour retombée au gel Fr. 600.-

3.3 Béton pour radier Fr. 1'100.-

3.4 Béton pour murs Fr. 2'600.-

3.5 Béton pour murettes Fr. 400.-

3.6 Béton pour dalle Fr. 1'120.-

3.7 Adjuvant dans bétons Fr. 200.-

3.8 Façon d'arasée sur murettes Fr. 100.-

3.9 Façon de maçochage du radier Fr. 400.-

3.10 P.V. pour béton étanche Fr. 1'100.-

3.11 Divers et imprévus Fr. 1'180.-

TOTAL III BETON **Fr. 9'000.-****IV COFFRAGES**

4.1 Coffrages pour retombées au gel Fr. 250.-

4.2 Coffrages pour bord de radier Fr. 250.-

4.3 Coffrages pour murs Fr. 3'750.-

4.4 Coffrages pour embrasures Fr. 200.-

4.5 Coffrages pour murettes Fr. 500.-

4.6 Coffrages pour dalle Fr. 700.-

4.7 Coffrages pour têtes de dalle Fr. 200.-

4.8 P.V. pour coffrages port-à-faux Fr. 100.-

4.9 Façon de charnières Fr. 300.-

4.10 Façon de goutte pendante Fr. 50.-

4.11 Façon de gorges à la bouteille Fr. 300.-

4.12 Barapne en deux couches Fr. 850.-

4.13 Chemise de drainage type Delta MS Fr. 680.-

4.14 Drainage périphérique Fr. 1'200.-

4.15 Bande pour reprise de bétonnage type Mastix Fr. 1'000.-

4.16 Divers et imprévus Fr. 1'670.-

TOTAL IV COFFRAGES **Fr. 12'000.-**

V ACIERS D'ARMATURE

5.1	Aciers d'armatures pour béton	Fr.	2'000.-
5.2	P.V. pour listes inf. à 3t	Fr.	150.-
5.3	P.V. pour positions de coupes	Fr.	200.-
5.4	Chevalets de support	Fr.	250.-
5.5	Fers de reprises	Fr.	150.-
5.6	FIRIPA	Fr.	750.-
5.7	Divers et imprévus	Fr.	1'300.-

TOTAL V ACIERS D'ARMATURE

Fr. 8'000.-

VI TRAVAUX EN REGIE

6.1	Main d'œuvre	Fr.	1'500.-
6.2	Matériaux	Fr.	1'000.-
6.3	Machines	Fr.	1'500.-

TOTAL VI TRAVAUX EN REGIE

Fr. 4'000.-

VII TRAVAUX DIVERS

7.1	Revêtements intérieurs	Fr.	2'000.-
	- sol	Fr.	5'450.-
	- parois	Fr.	2'000.-
	- dalle	Fr.	2'000.-
7.2	Blanchéité sur dalle	Fr.	2'000.-
7.3	Divers scelléments	Fr.	2'000.-
7.4	Porte Inox type ROMAG 90/200cm	Fr.	7'000.-

7.5 Fenêtre type ROMAG 40/60cm

Fr. 3'000.-

7.6 Grilles de protection

Fr. 800.-

7.7 Divers et imprévus

Fr. 2'750.-

TOTAL VII TRAVAUX DIVERS

Fr. 27'000.-

VIII HONORAIRES ET FRAIS

8.1 Honoraires et frais divers

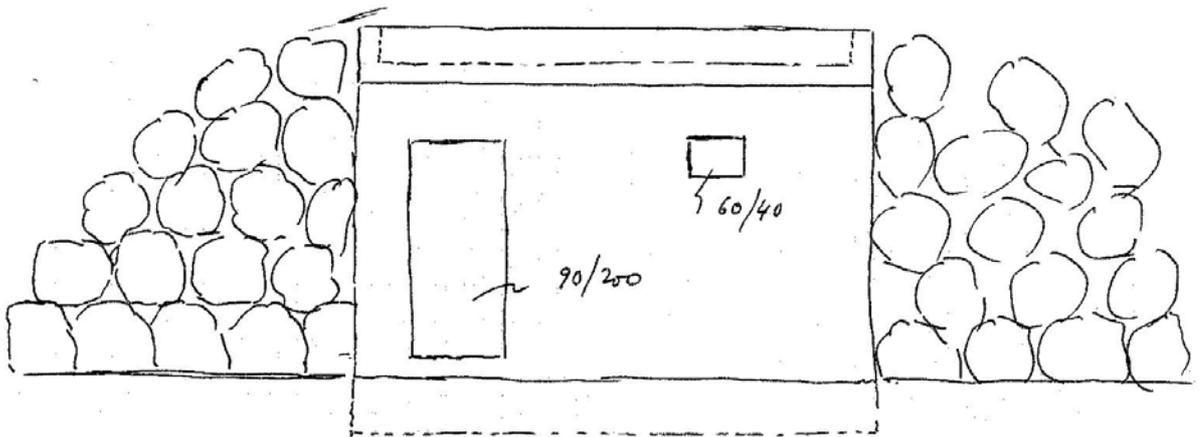
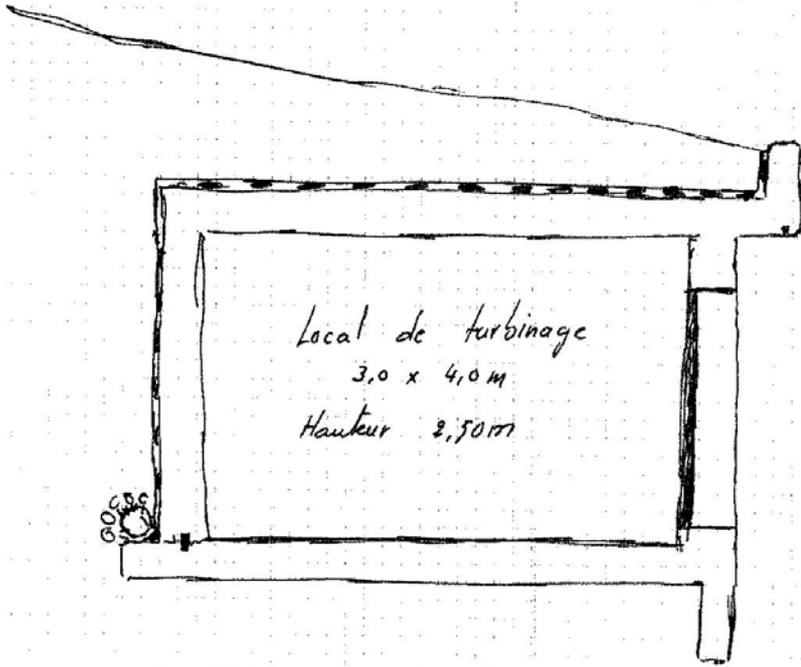
Fr. 9'000.-

TOTAL VIII HONORAIRES ET FRAIS

Fr. 9'000.-

Martigny, juillet 2006

J-F Trésélez



TURBINAGE DES EAUX DE CRÊDEDIN

Etude de remplacement de la conduite et local de turbinage

DEVIS ESTIMATIF

VARIANTE 1 : Conduite en fonte Ø 250

Tronçon supérieur :	Génie civil	Fr. 17'388.15	
	Appareillage	<u>Fr. 40'048.70</u>	
		Fr. 57'436.85	Fr. 57'436.85

Tronçon inférieur :	Génie civil	Fr. 31'655.90	
	Appareillage	Fr. 125'106.50	
	Local turbinage	<u>Fr. 90'922.00</u>	
		Fr. 247'684.40	<u>Fr. 247'684.40</u>

Total Fr. 305'121.25

VARIANTE 2 : Conduite en acier Ø 250

Tronçon supérieur :	Génie civil	Fr. 18'647.10	
	Appareillage	<u>Fr. 48'366.20</u>	
		Fr. 67'013.30	Fr. 67'013.30

Tronçon inférieur :	Génie civil	Fr. 34'109.20	
---------------------	-------------	---------------	--

Appareillage	Fr. 91'244.80	
Local turbinage	<u>Fr. 90'922.00</u>	
	Fr. 216'276.00	<u>Fr. 216'276.00</u>

Total Fr. 283'289.30

VARIANTE 3 : Conduite en fonte Ø 300

Tronçon supérieur :	Génie civil	Fr. 17'388.15	
	Appareillage	<u>Fr. 49'926.40</u>	
		Fr. 67'314.55	Fr. 67'314.55

Tronçon inférieur :	Génie civil	Fr. 31'655.90	
	Appareillage	Fr. 151'253.30	
	Local turbinage	<u>Fr. 90'922.00</u>	
		Fr. 273'831.20	<u>Fr. 273'831.20</u>

Total Fr. 341'145.75

VARIANTE 4 : Conduite en acier Ø 300

Tronçon supérieur :	Génie civil	Fr. 18'647.10	
	Appareillage	<u>Fr. 58'319.20</u>	
		Fr. 76'966.30	Fr. 76'966.30

Tronçon inférieur :	Génie civil	Fr. 34'109.20	
	Appareillage	Fr. 109'224.75	
	Local turbinage	<u>Fr. 90'922.00</u>	
		Fr. 234'255.95	<u>Fr. 234'255.95</u>

Total Fr. 311'222.25

Remarques :

- Avec les années, comme dans les tuyaux existants, des dépôts peuvent se produire dans les tuyaux en acier de manière plus marquée que dans les tuyaux en fonte.
- Le devis du local de turbinage comprend des positions qui pourraient être supprimées ou réduites selon les exigences du Maître d'œuvre (cf travaux divers).
- Le local de turbinage correspond à un local de 3 x 4 m entièrement enterré (cf croquis).
- Dans le devis des tuyaux sont inclus des imprévus (10%) et les honoraires.